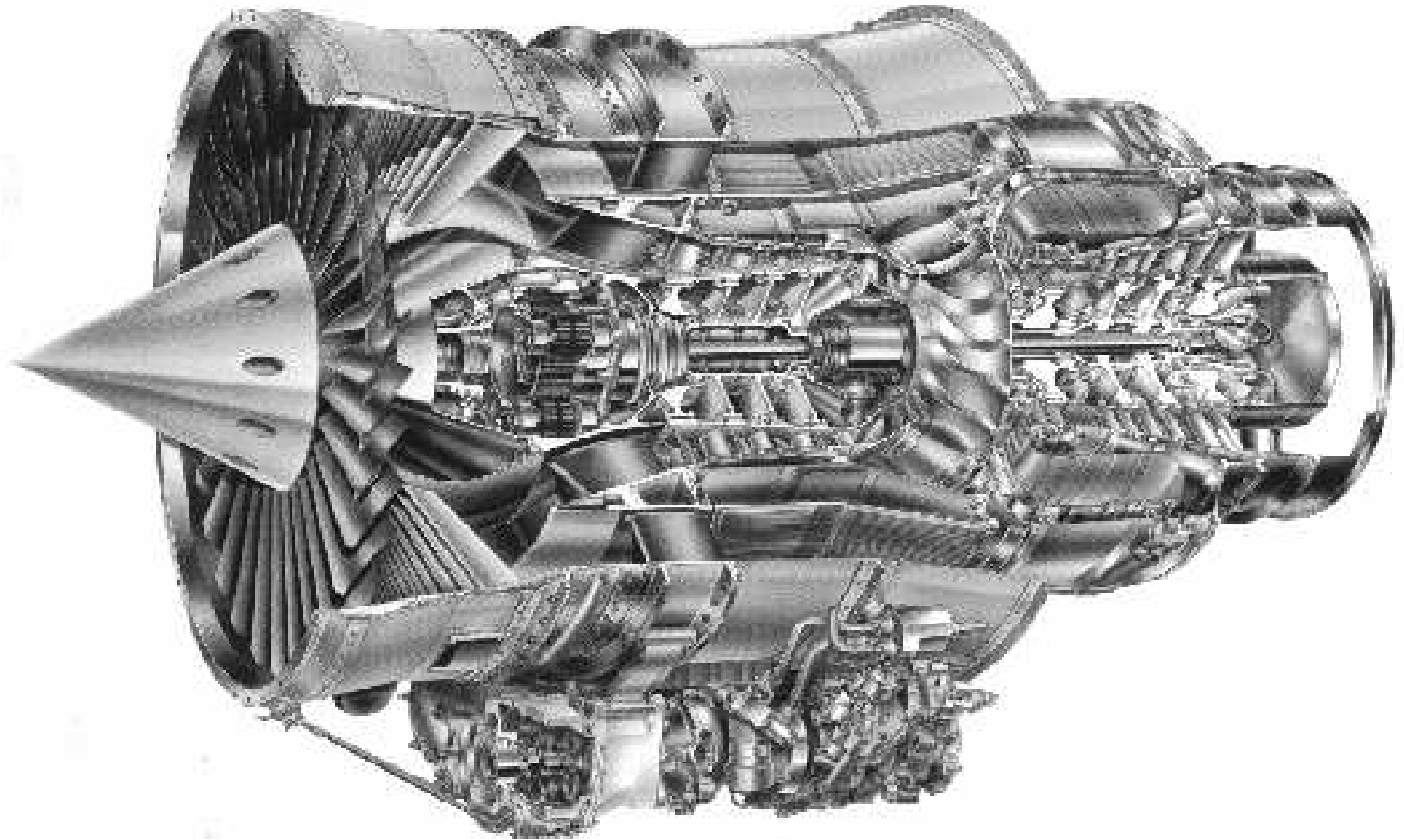
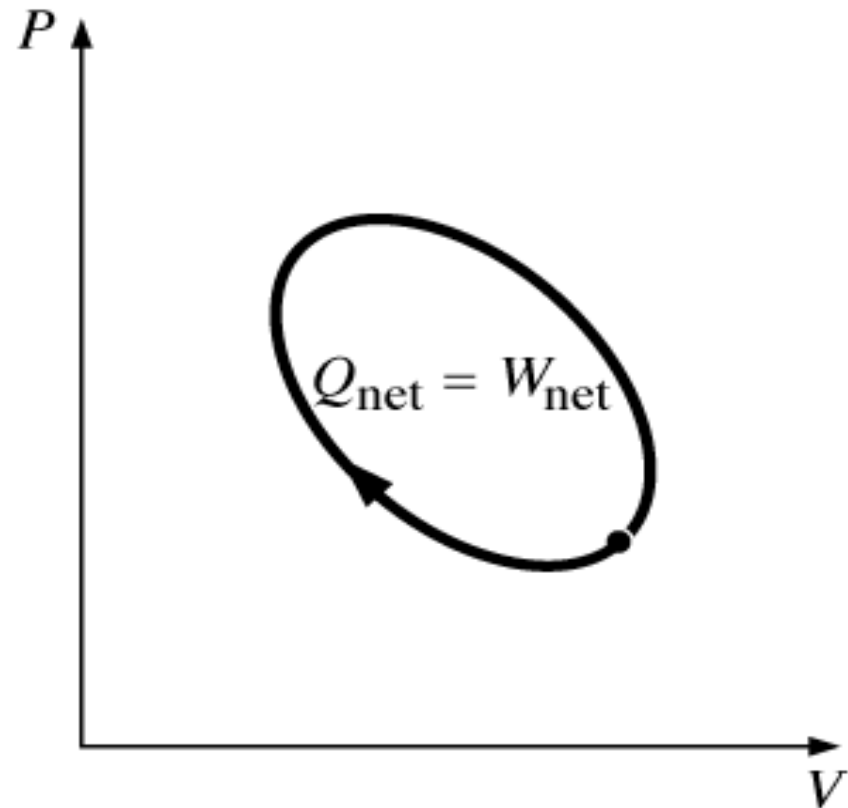


# A primeira lei da termodinâmica e os processos em ciclos



# Ciclo termodinâmico

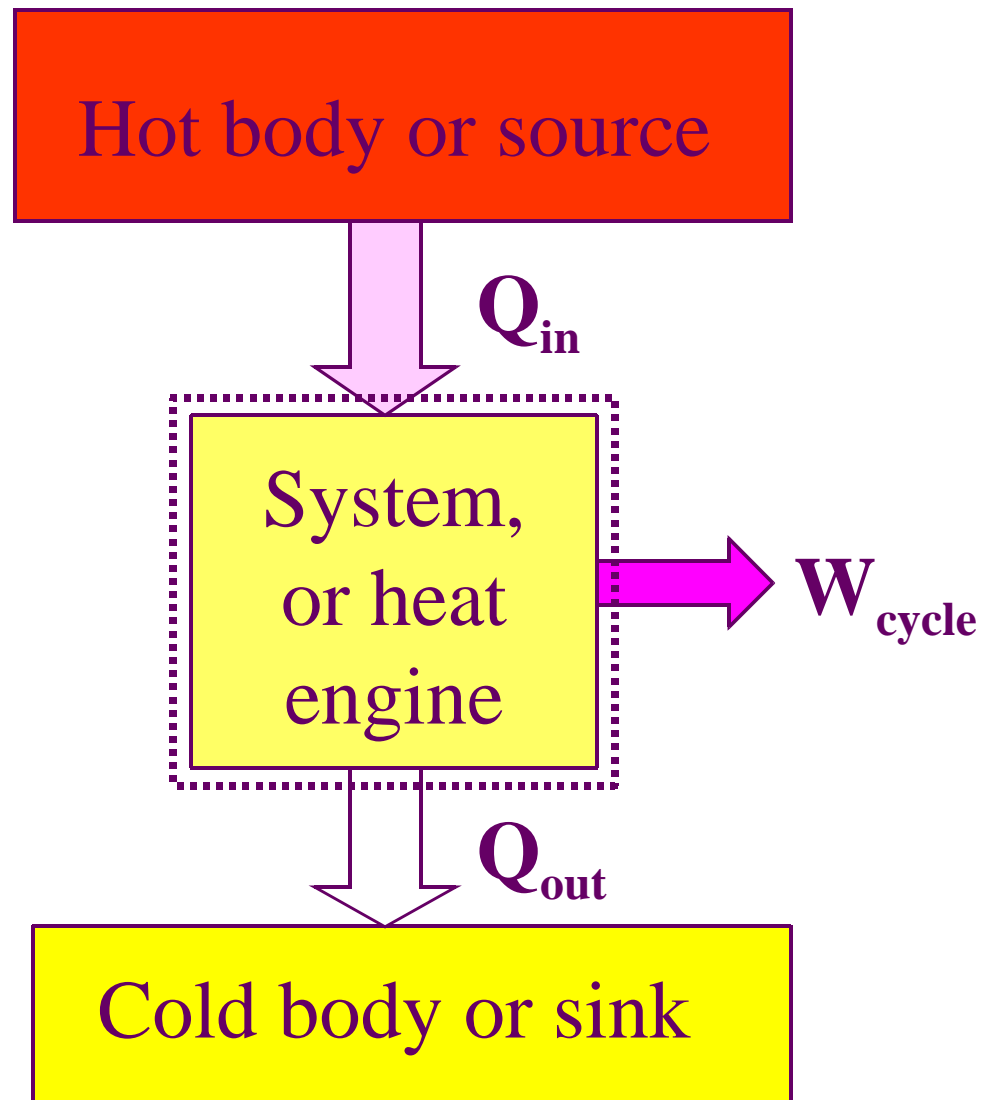
- Série de processos que formam um caminho fechado
- Os estados inicial e final coincidem



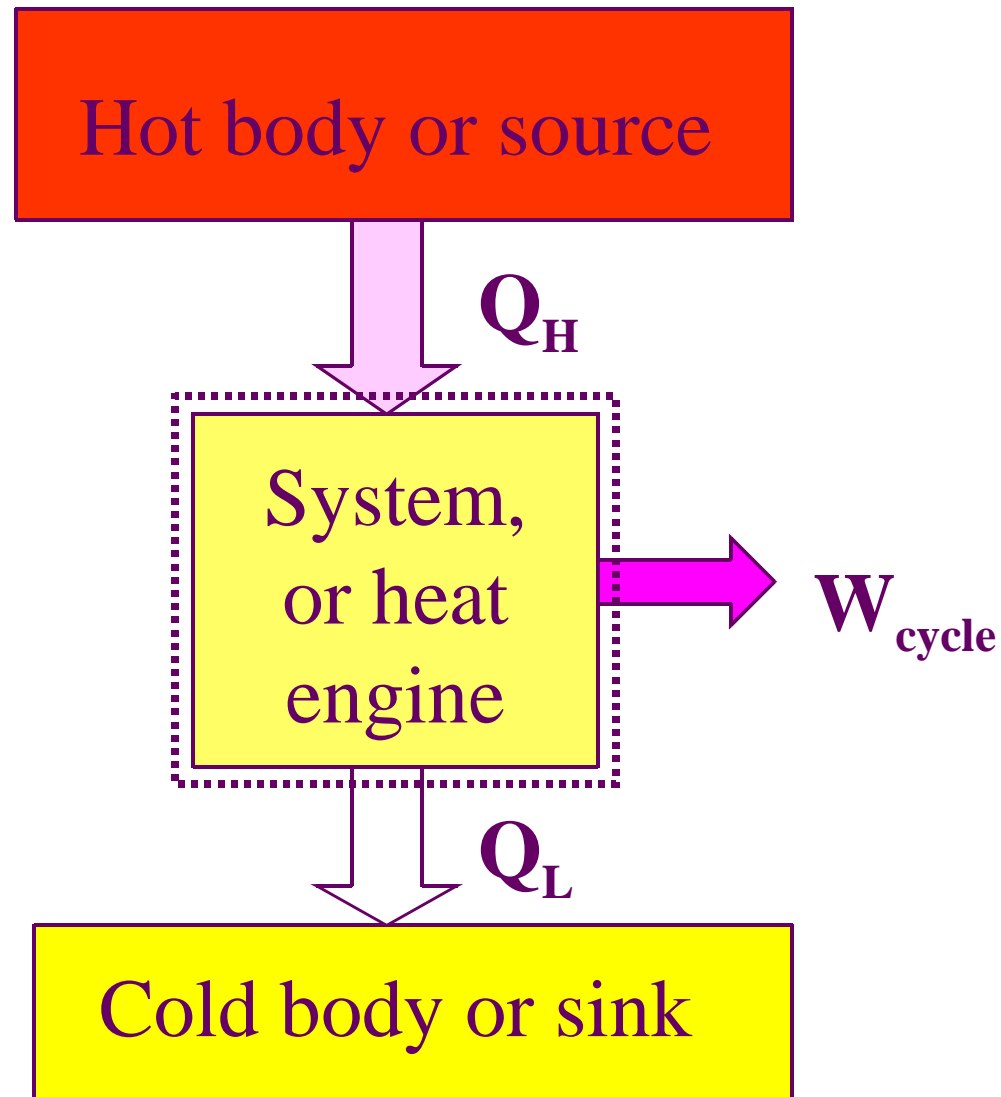
# Para que servem os ciclos termodinâmicos?

- Os motores térmicos trabalham em processos cíclicos
- Os motores térmicos absorvem calor de uma fonte quente e rejeitam calor para uma fonte fria, produzindo trabalho

# *Ciclos de potência de máquinas térmicas*

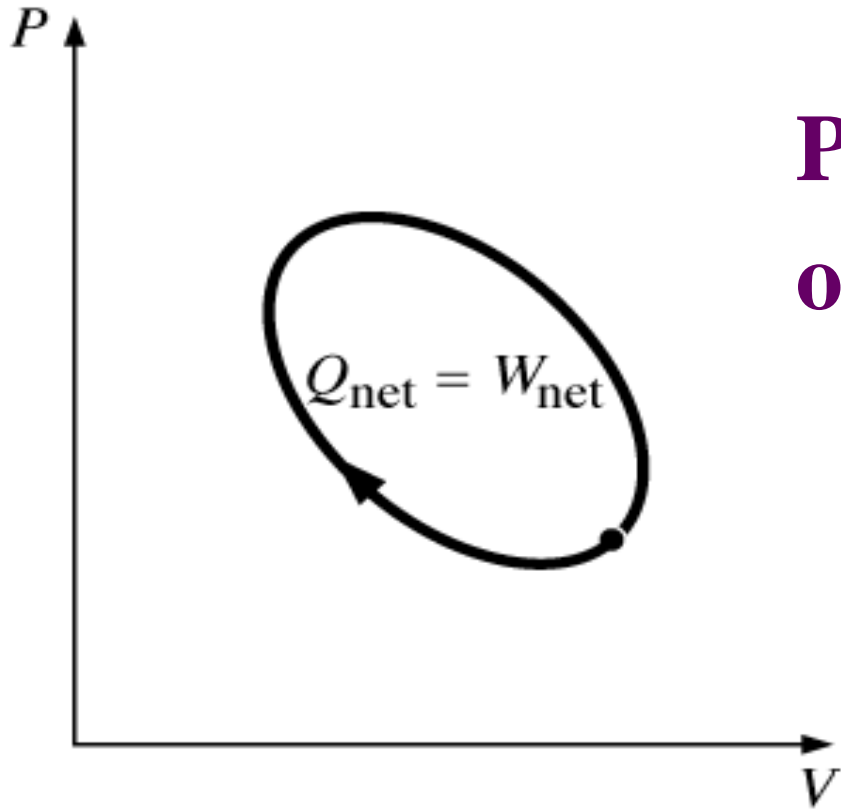


# *Eficiência de motores térmicos*



$$\begin{aligned}\eta &= \frac{W_{LIQ}}{Q_H} = \\ &= \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} \\ &= 1 - \frac{Q_L}{Q_H}\end{aligned}$$

# *Análise de energia dos ciclos*



Para um ciclo,  $E_1 - E_1 = 0$ ,  
ou

$$\Delta E_{\text{ciclo}} = 0$$

$$\Delta E_{\text{ciclo}} = Q_{\text{ciclo}} - W_{\text{ciclo}} = 0$$

*Para um ciclo, podemos escrever*

$$Q_{\text{ciclo}} = W_{\text{ciclo}}$$

$Q_{\text{ciclo}}$  e  $W_{\text{ciclo}}$  representam quantidades líquidas, que também podem ser representadas por:

$$\sum_{\text{ciclo}} Q = \sum_{\text{ciclo}} W$$

# Questão

- Um sistema fechado está sujeito a um ciclo consistindo de 2 processos. Durante o primeiro processo, 40 Btu de calor são transferidos para o sistema, enquanto o sistema realiza 60 Btu de trabalho. Durante o segundo processo, 45 Btu de trabalho são realizados sobre o sistema.
  - (a) Determine a transferência de calor durante o segundo processo
  - (b) Calcule o trabalho e a transferência de calor líquidos do ciclo

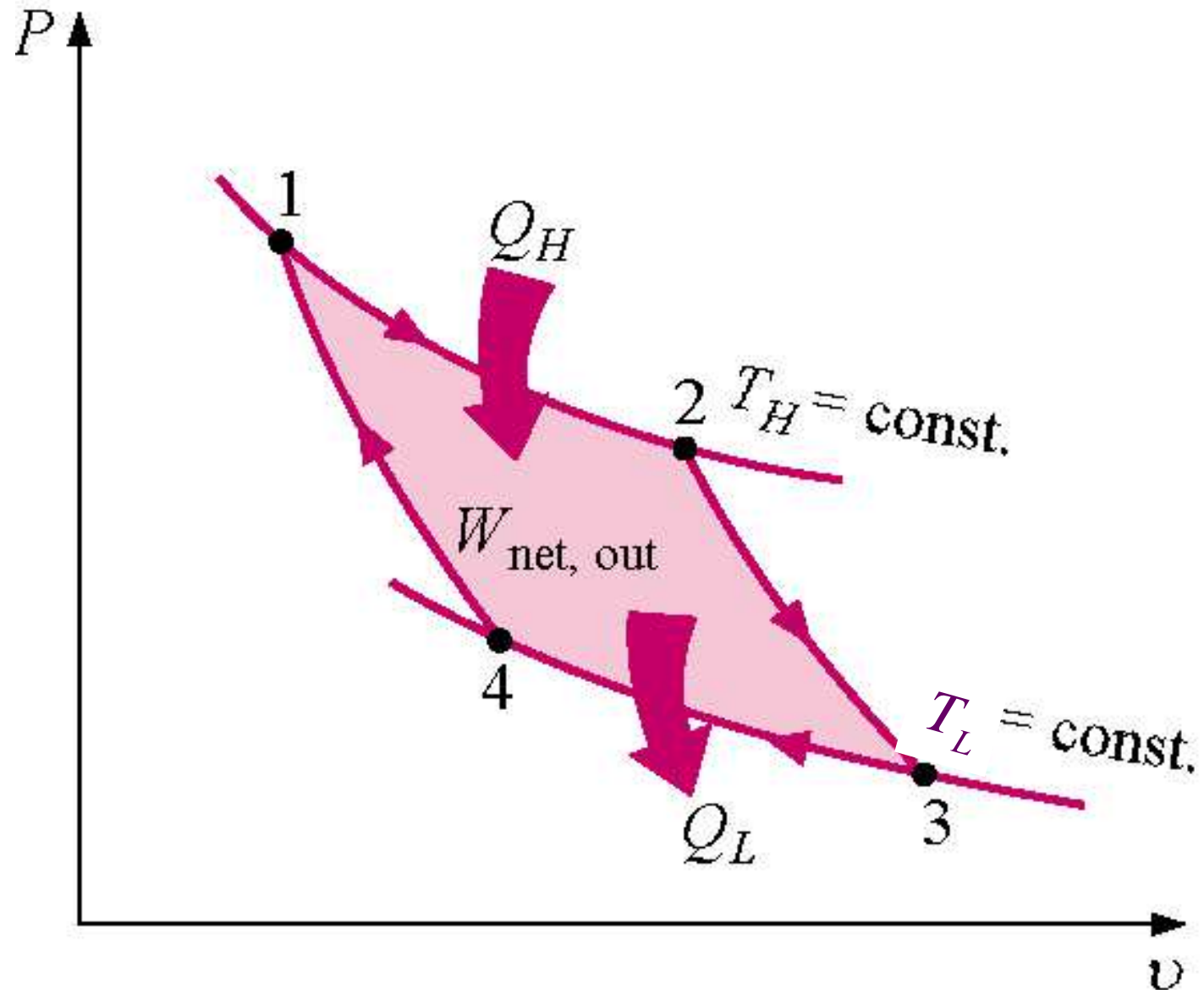


# *Ciclo de Carnot*

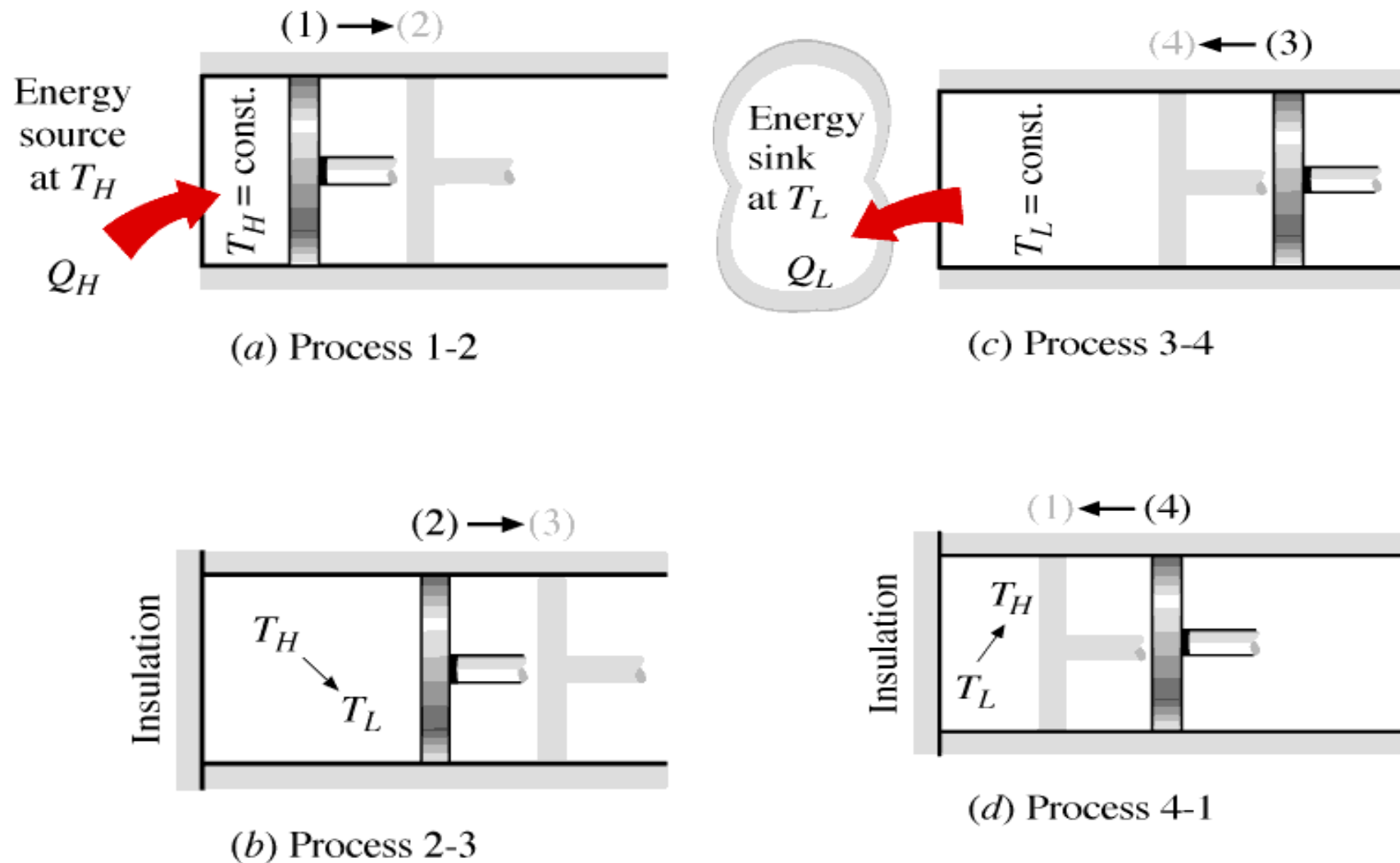
- **O *ciclo de Carnot* é um ciclo reversível composto de 4 processos internamente reversíveis**
  - **2 processos isotérmicos**
  - **2 processos adiabáticos**

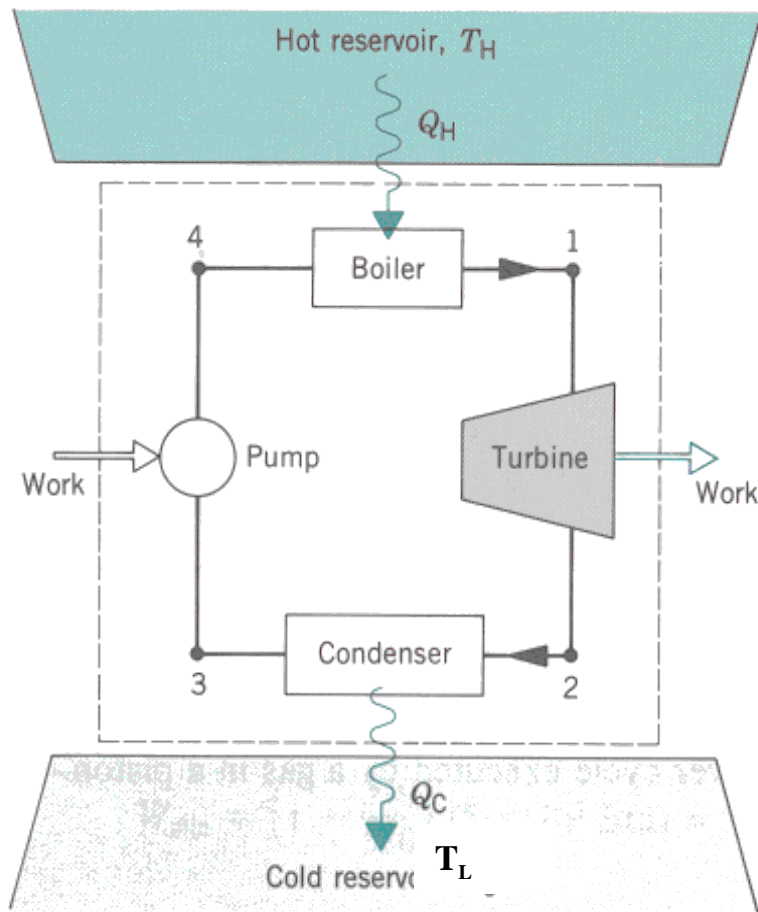
# *Ciclo de Carnot para um gás*

*A área representa o trabalho líquido*



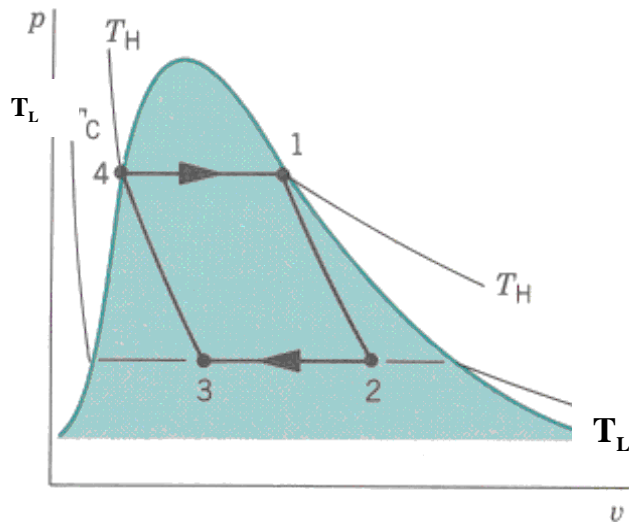
# *O ciclo de Carnot pode ser visualizado como abaixo*





- Este é o ciclo de Carnot envolvendo 2 fases: ele é composto de 2 processos adiabáticos e de 2 processos isotérmicos.

- Ele sempre é reversível: o ciclo de Carnot é, por definição, reversível



# Eficiência de Carnot

**A eficiência de Carnot depende das temperaturas dos reservatórios térmicos (2ª Lei)**

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} \qquad \eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

**Limite superior para a eficiência de máquinas térmicas (para não violar a segunda lei)**

**Não depende de detalhes da máquina, apenas das temperaturas dos reservatórios térmicos**

# Questão

**Qual o custo de operação de uma usina a vapor fornecendo 24 horas por dia 1000 MW (líq.) com 35% de eficiência se o combustível custa \$2.00 por  $10^6$  Btu (1055 MJ)?**

# Questão

**Qual o custo de operação de uma usina a vapor fornecendo 24 horas por dia 1000 MW (saída) com 35% de eficiência se o combustível custa \$2.00 por  $10^6$  Btu?**

**\$467 975/dia**

**\$170 811 104/ano**

# Questão

**Se você pudesse aumentar a eficiência da usina da questão anterior de 35% para 36%, qual seria um preço adequado para os seus serviços?**



# Questão

**Se você pudesse aumentar a eficiência da usina da questão anterior de 35% para 36%, qual seria um preço adequado para os seus serviços?**

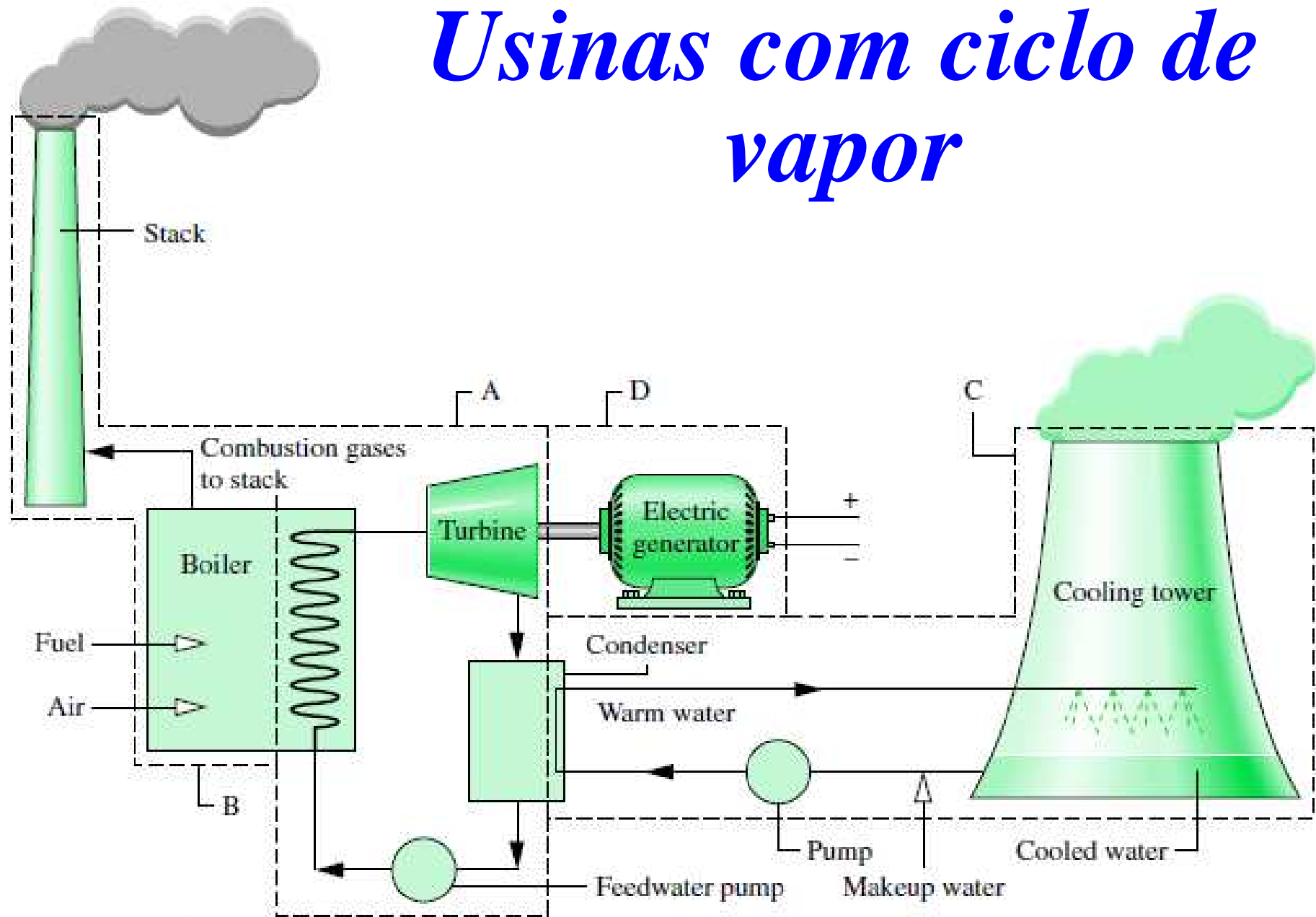
**Economia realizada:**

**\$12 998/dia**  
**\$389 980/mês**

**5% da economia pelos serviços prestados:**

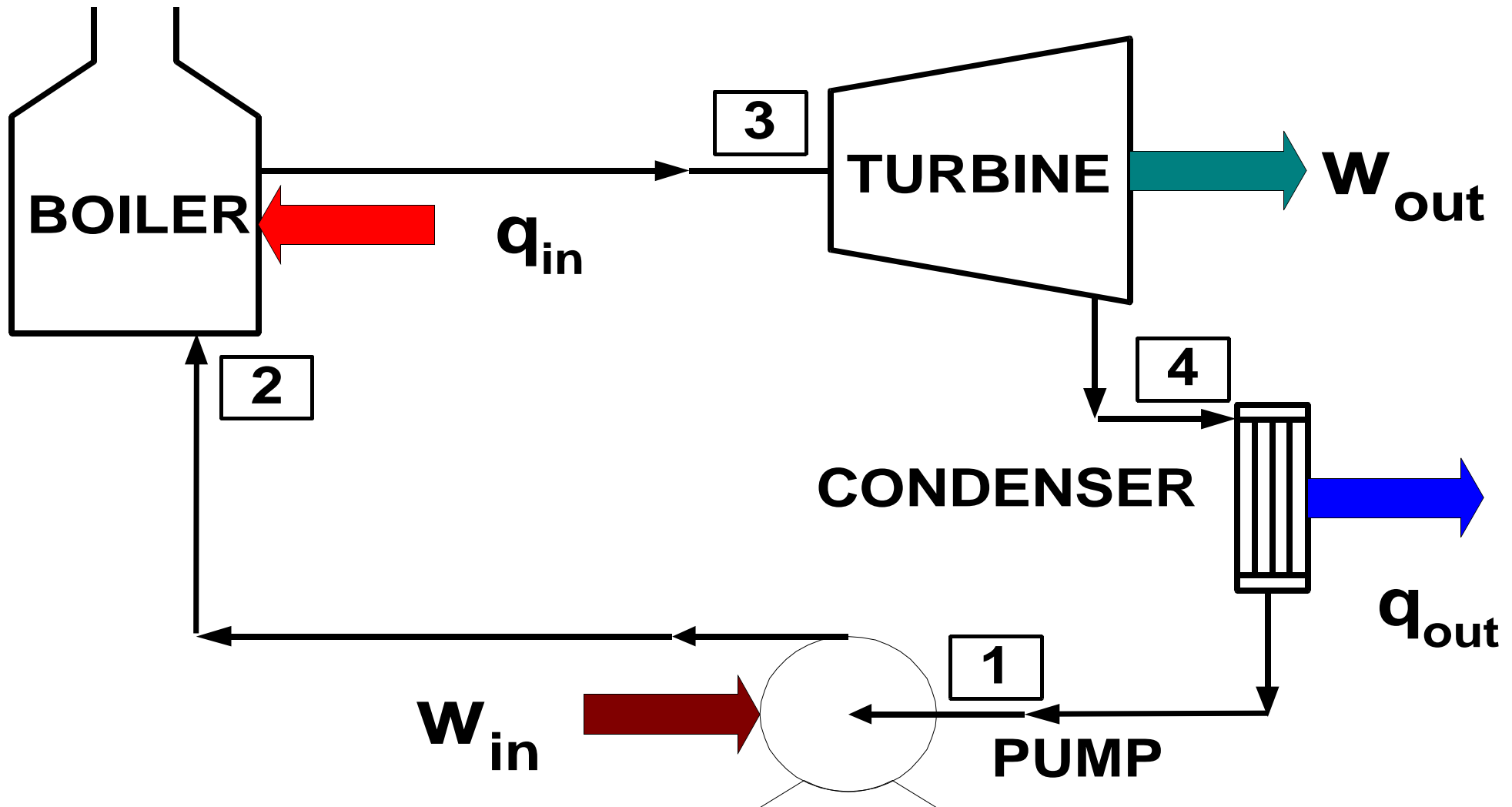
**\$19 500/mês**

# *Usinas com ciclo de vapor*



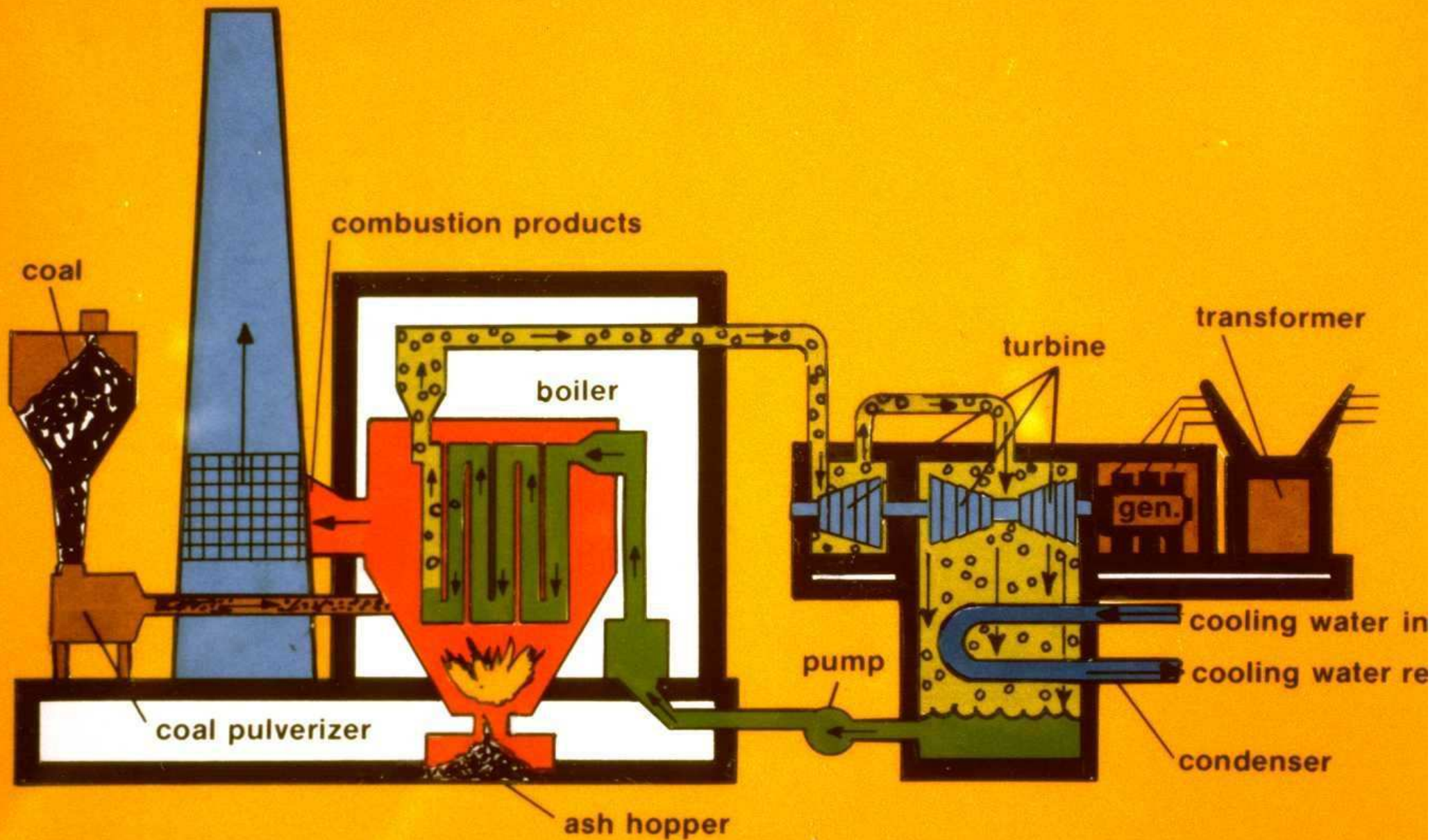
▲ **Figure 8.1** Components of a simple vapor power plant.

# Simplificando a usina...



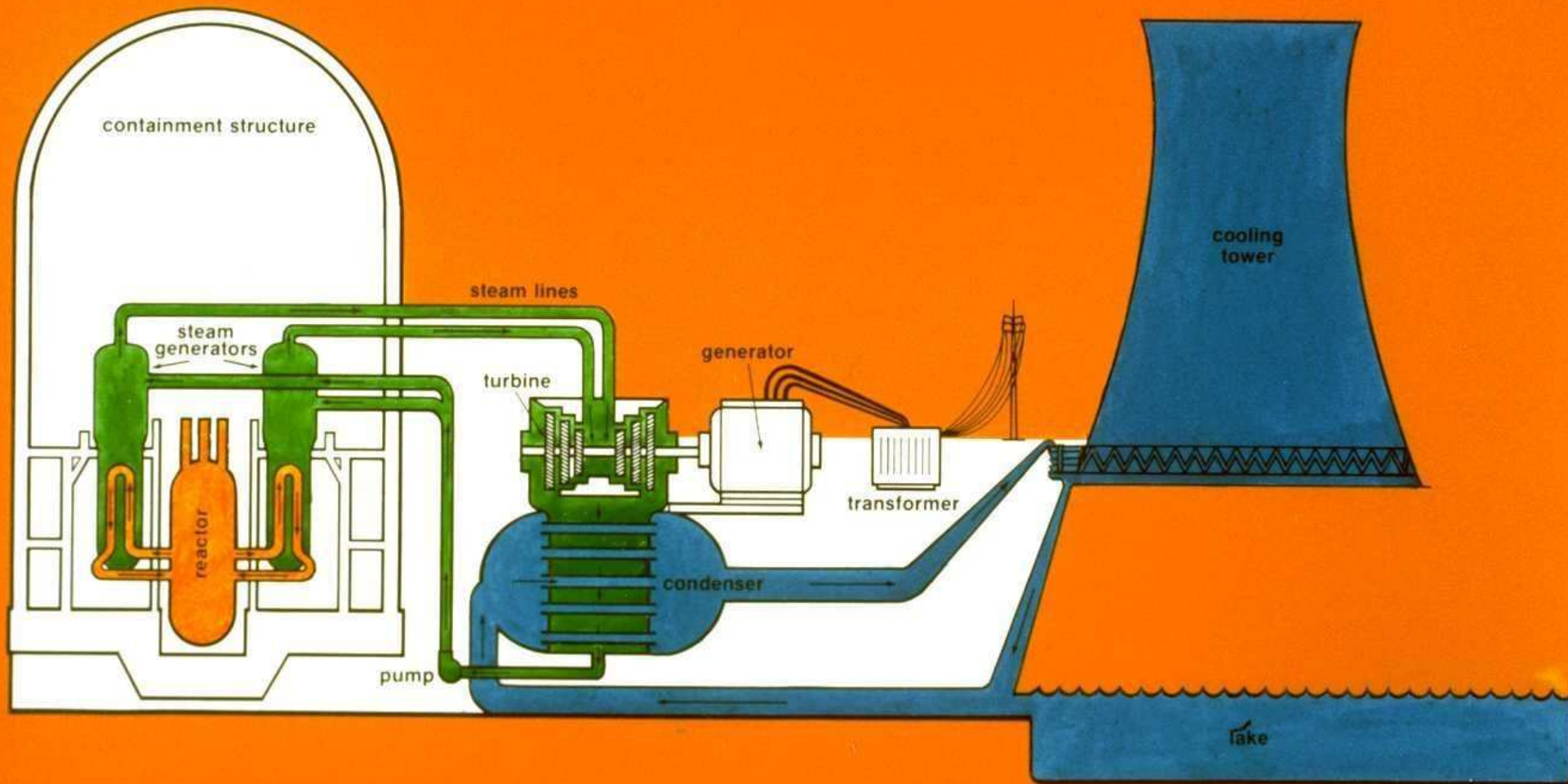


**Overview of a coal fired steam power station.**  
(Courtesy of Carolina Power and Light Company)



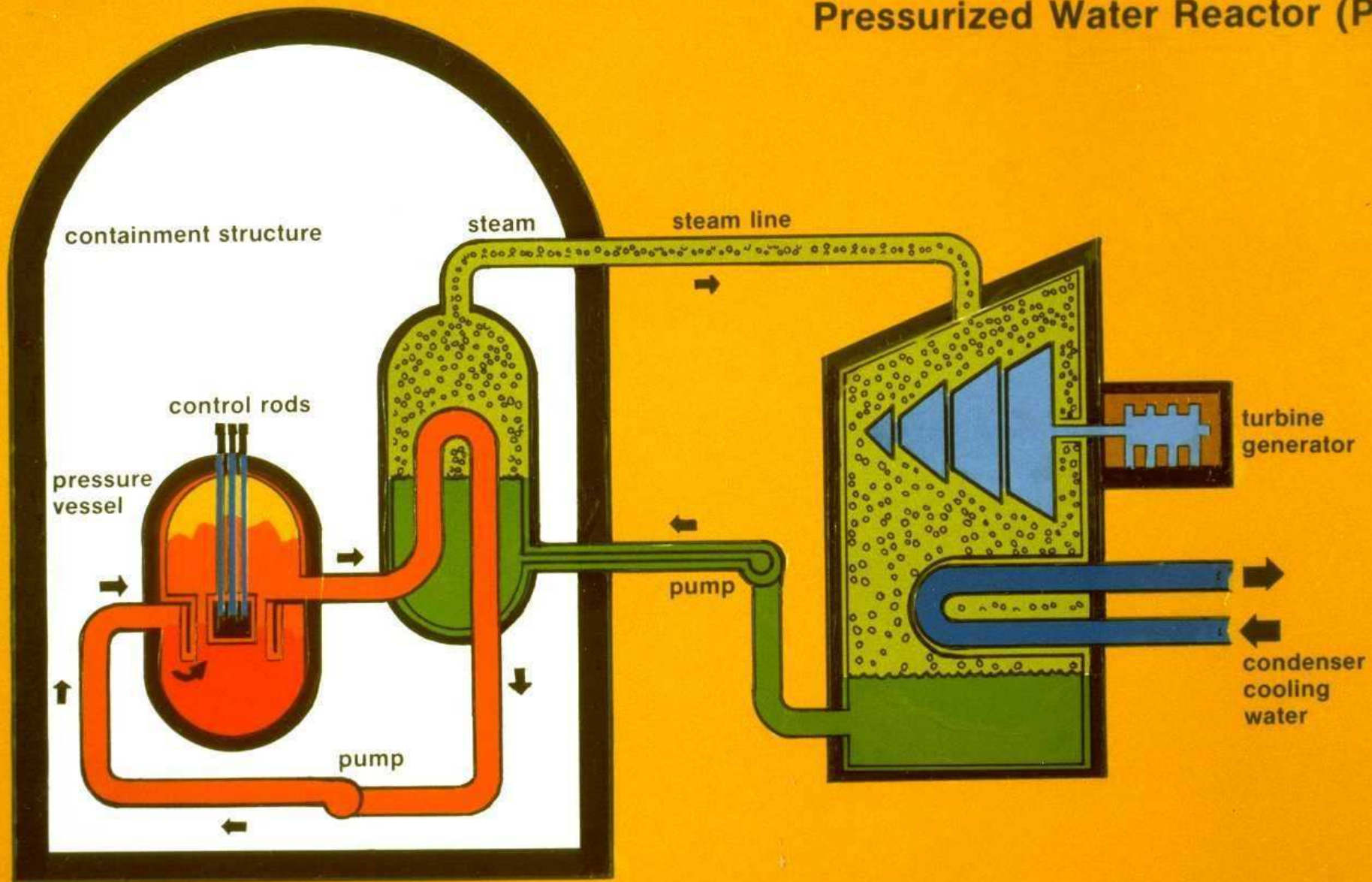
**Overview of a coal fired generating plant.**  
(Courtesy of Carolina Power and Light Company)

# PRESSURIZED WATER REACTOR (PWR)



**Pressurized water reactor power plant.**  
(Courtesy of Carolina Power and Light Company)

## Pressurized Water Reactor (PWR)



**Pressurized water reactor steam generator.**  
(Courtesy of Carolina Power and Light Company)

# Questão

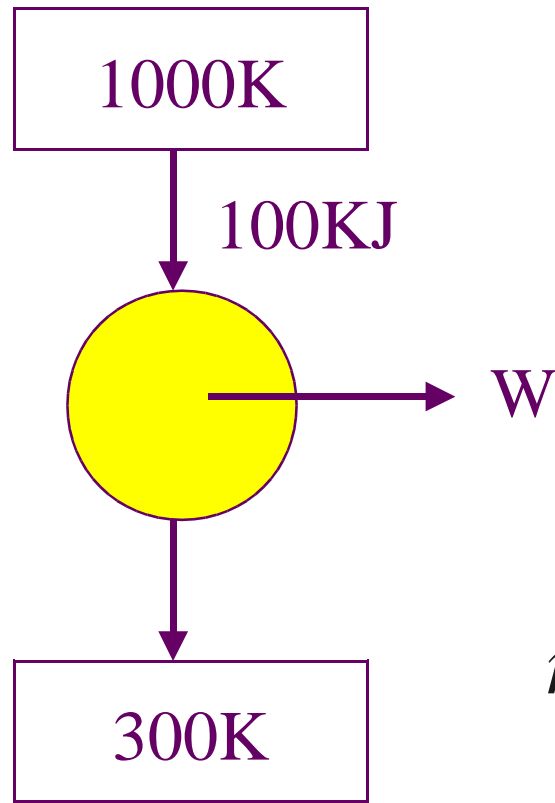
- Ex. 4.8: Um sistema que contém 3 kg de ar opera um ciclo que consiste nos 3 seguintes processos:
  - $1 \rightarrow 2$  : adição de calor a volume constante:  $P_1 = 0,1$  Mpa,  $T_1 = 20^\circ\text{C}$  e  $P_2 = 0,2$  Mpa
  - $2 \rightarrow 3$  : adição de calor a temperatura constante
  - $3 \rightarrow 1$  : rejeição de calor a pressão constante
- Esboce o ciclo em um diagrama P-v
- Calcule o trabalho sobre cada um dos 3 processos
- Qual é o trabalho líquido, a eficiência térmica e a transferência de calor líquida do ciclo?



# Questão

- Ex. 4.13: Um quantidade de 100 kJ de calor é adicionada a um ciclo de Carnot a 1000K. O ciclo rejeita calor a 300K. Quanto trabalho o ciclo produz e quanto calor o ciclo rejeita?

### Ex4.13)



### Ciclo de Carnot

$$W=?$$

$$Q_c=?$$

$$\eta_c = \frac{W}{Q_h} = 1 - \frac{T_c}{T_h} = 1 - 0,3$$

$$\eta_c = 0,7 \rightarrow W = 0,7 \times 100$$

$$W = 70\text{KJ}$$

$$\oint Q = \oint W \rightarrow (100 - Q_c) = 70$$

$$Q_c = 30\text{KJ}$$

# Questão

- Ex. 4.14: Uma grande central de potência produz 1000 MW de potência elétrica operando com uma eficiência térmica do ciclo de 40 %. Qual a taxa em que o calor é rejeitado para o ambiente por essa central?

## Ex4.14)

$$\eta_T = 0,4 = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_h}$$

$$\dot{Q}_h = \frac{1000\text{MW}}{0,4} = 2500\text{MW}$$

$$\oint \dot{Q} = \oint \dot{W}$$

$$(\dot{Q}_h - \dot{Q}_c) = \dot{W}_{\text{liq}}$$

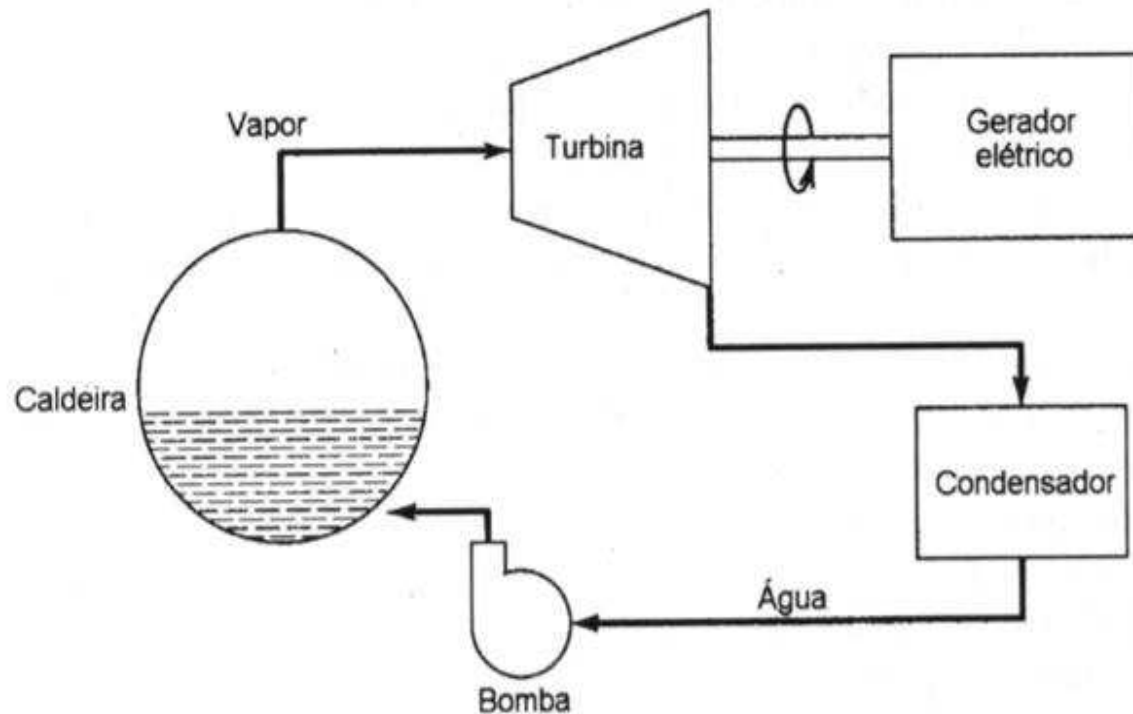
$$\dot{Q}_c = 1500\text{MW}$$

**4-15** Uma central de potência térmica opera segundo o seguinte ciclo (veja Fig. P4.15). A água é bombeada para uma caldeira onde ela é convertida em vapor a alta pressão e temperatura através da adição do calor fornecido pela combustão de carvão. O vapor é expandido em uma turbina de vapor que aciona um gerador elétrico. Após passar pela turbina, o vapor é condensado em um condensador, rejeitando calor antes de ser bombeado de volta à caldeira.

(a) Identifique os sinais das interações de transferências de calor e de trabalho que ocorrem durante o ciclo, adotando a água/vapor como sistema.

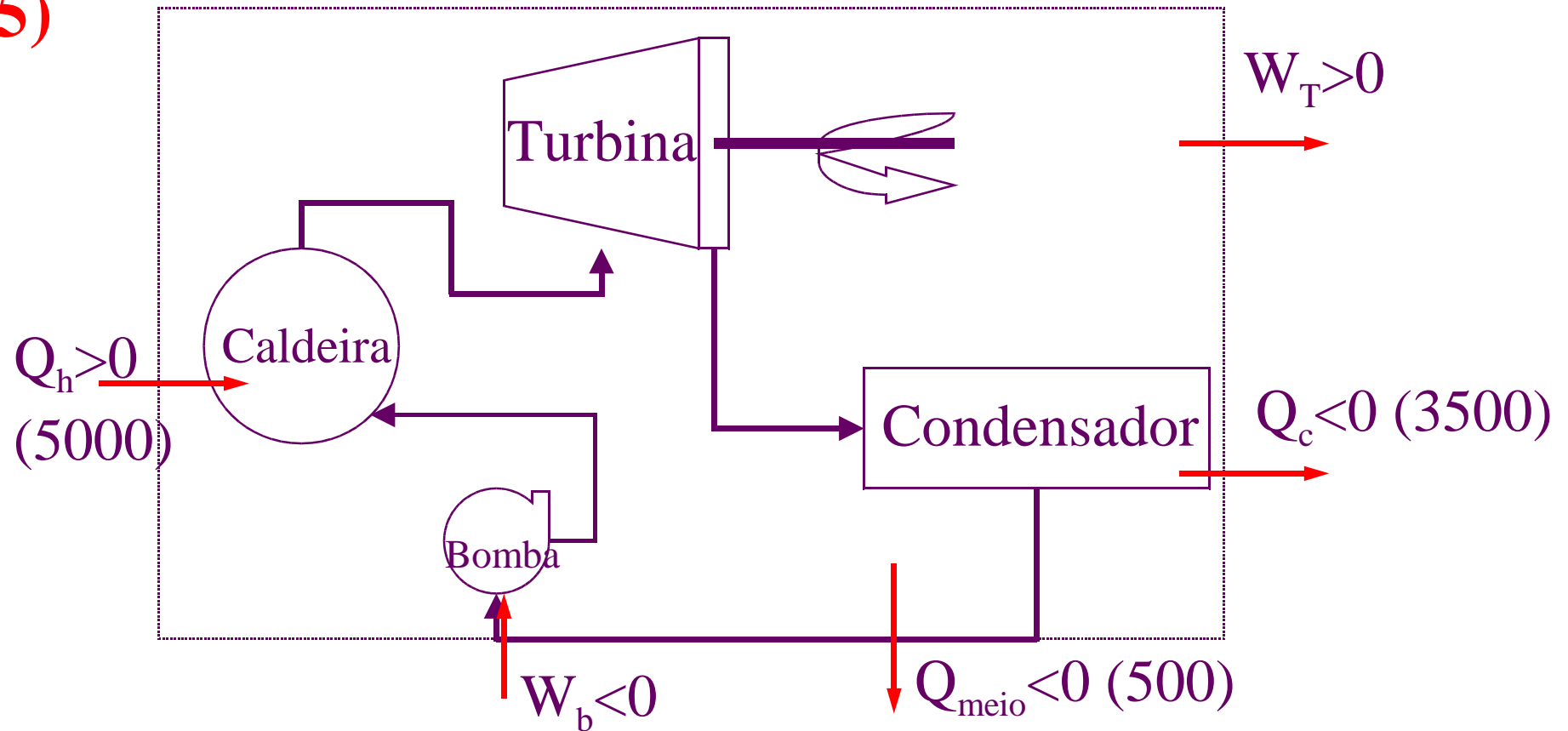
(b) Se 5.000 MW de potência térmica é adicionada à água na caldeira, 3.500 MW é rejeitado no condensador, e as perdas de calor adicionais do ciclo são 500 MW, qual é a potência líquida do ciclo? Qual é a eficiência térmica da central de potência?

(c) Se a potência da bomba é de 1.000 kW, qual é a saída da turbina de potência?



**Figura P4-15** Ciclo de central de potência a vapor.

## Ex4.15)



$$\oint \dot{Q} = \oint \dot{W} \rightarrow 5000 - 4000 = 1000 \text{ MW}$$

$$\eta_T = \frac{W_{\text{liq}}}{Q_h} = \frac{1000}{5000} = 20\%$$

$$W_{\text{liq}} = W_T - W_b \rightarrow 1000 = W_T - 1 \rightarrow W_T = 1001 \text{ MW}$$

# Questão

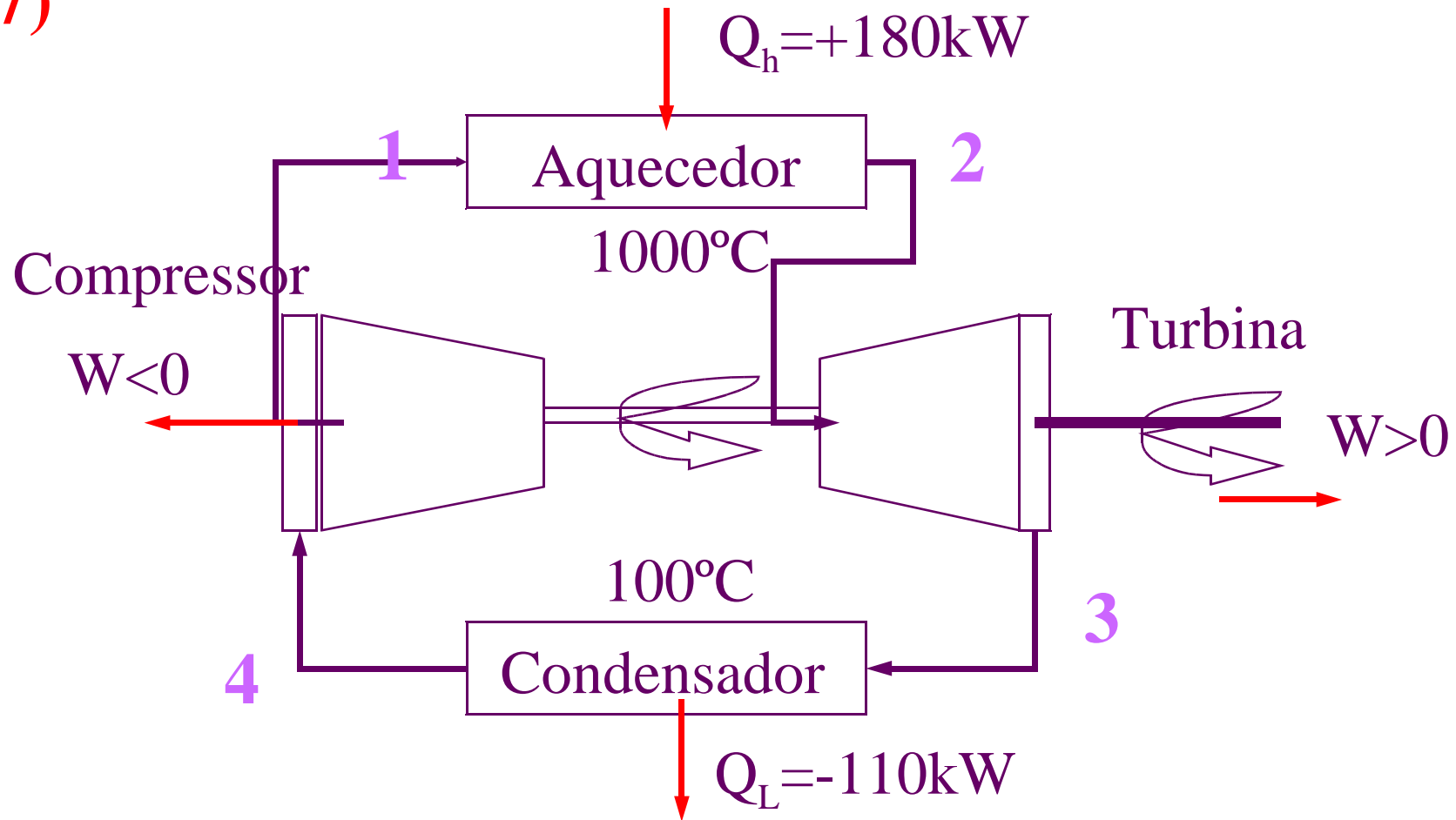
- Ex. 4.16: Se a central do problema anterior operasse em um ciclo de Carnot, com a temperatura da caldeira a  $550^{\circ}\text{C}$  e a temperatura do condensador a  $30^{\circ}\text{C}$ , qual seria a eficiência térmica do ciclo?

**Ex4.16)**

$$\eta_T = 1 - \frac{303}{823} = 0,63$$



# Ex4.17)



$$1^{\circ}\text{Lei: } \oint Q = \oint W$$

$$W_{\text{liq}} = 180 - 110 = 70 \text{ kW}$$

$$\eta_T = \frac{W_{\text{liq}}}{Q_h} = \frac{70}{180} = 0,39\%$$

# Questão

- Ex. 4.3: Uma massa de 10 kg de ar é aquecida de  $30^{\circ}\text{C}$  para  $130^{\circ}\text{C}$  em um dispositivo pistão cilindro de tal forma que a pressão do ar é de 1 atm durante o processo. Se o processo for completado em 1000s, qual é a taxa em que calor é adicionado? Qual é a taxa em que trabalho é realizado pelo ar?

# Ciclo de Carnot

- ***O ciclo de Carnot*** não é um modelo adequado para ciclos de potência a vapor porque ele não pode ser obtido na prática.

# Ciclo de Carnot (vapor)

Compressor e turbina sujeitos a mudanças de fase

